酵母硒对肉仔鸡的生物安全性评价

何文刚[1]　赵玉振[2*]　廖秀东[2]　张丽阳[2]　吕　林[2**]　郭艳丽[1**]　罗绪刚[2]

（1.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所矿物元素营养研究室，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究饲粮添加不同水平酵母硒对爱拔益加（AA）肉仔鸡生长性能、血液血红蛋白含量和红细胞压积、血浆生化指标、器官指数和组织结构变化的影响，进而评价酵母硒对肉仔鸡的生物安全性。试验采用单因子完全随机设计，选用 288 只 1 日龄 AA 肉仔鸡，随机分为 4 个组，每个组 6 个重复，每个重复 12 只鸡（公母各占 1/2）。各组分别在玉米-豆粕型基础饲粮中添加 0、0.4、2.4 和 4.9 mg/kg（以硒计）的酵母硒试验。试验期为 42 d。结果表明：1）与对照组相比，饲粮添加 0.4 和 2.4 mg/kg 酵母硒显著提高了 22~42 日龄肉仔鸡平均日采食量（P<0.05）；饲粮添加 0.4、2.4 和 4.9 mg/kg 酵母硒显著提高了 1~42 日龄肉仔鸡平均日增重（P<0.05），而各酵母硒添加组之间差异不显著（P>0.05）。2）饲粮添加不同水平酵母硒除对 21 日龄肉仔鸡血浆尿素氮含量和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性以及 42 日龄肉仔鸡血浆 GSH-Px 活性有显著影响（P<0.05）外，对其他血浆生化指标均无显著影响（P>0.05）。与对照组相比，各酵母硒添加组 21 和 42 日龄肉仔鸡血浆 GSH-Px 活性随着酵母硒添加水平的增加均显著提高（P<0.05），且饲粮添加 2.4 mg/kg 酵母硒显著降低了 21 日龄肉仔鸡血浆尿素氮含量（P<0.05）。3）饲粮添加不同水平酵母硒对 21 和 42 日龄肉仔鸡血液血红蛋白含量和红细胞压积及 42 日龄肉仔鸡器官指数均无显著影响（P>0.05），且

收稿日期：2016-11-18
基金项目：农产品质量安全监管(饲料质量安全监管)项目；国家现代农业产业技术体系岗位专家专项经费(CARS-42)；中国农业科学院科技创新工程专项经费(ASTIP-IAS08)
作者简介：何文刚（1990—），男，甘肃会宁人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 1039785970@qq.com
*同等贡献作者
**通信作者：吕　林，副研究员，硕士生导师，E-mail: lulin1225@163.com；郭艳丽，教授，博士生导师，E-mail: guoyl@gsau.edu.cn

并未引起主要器官的组织结构变化。综上所述，肉仔鸡饲粮中酵母硒的添加水平为 0.4 mg/kg（饲粮中总硒含量为 0.41 mg/kg）时，具有 10 倍的安全系数，即饲粮中以酵母硒形式添加硒对肉仔鸡是安全的。

关键词：酵母硒；生物安全性评价；肉仔鸡

中图分类号：S831

1973 年，世界卫生组织（WHO）和国际营养组织确认硒为人和动物体内必需的微量元素[1]。硒的营养主要是通过与酶蛋白结合发挥抗氧化作用。此外，硒还具有增强机体免疫、促生长、提高繁殖性能、降血脂、抗应激、抗衰老、抗癌等作用。长期以来，饲粮中硒的补充通常以无机硒（亚硒酸钠）作为硒源。然而，由于亚硒酸钠毒性较大且生物利用率较低，对动物和环境可能造成潜在的危害。Kim 等[2]在猪饲粮中添加 0~20 mg/kg 酵母硒和亚硒酸钠形式的硒时猪表现出不同的中毒反应，且硒添加水平大于 5.0 mg/kg 时，随着硒添加水平的继续增加，与酵母硒组相比，亚硒酸钠组的猪中毒症状更严重，主要表现在猪的采食量和日增重大大降低，以及脱毛、蹒跚步态、冠状带分离、血浆谷草转氨酶（GOT）活性升高的发生率高等方面。郭军蕊[3]研究了饲粮中添加 0~5.0 mg/kg 蛋氨酸硒对肉仔鸡的饲用安全性，结果表明，饲粮中添加 5.0 mg/kg 蛋氨酸硒对 1~42 日龄肉仔鸡无明显不良影响。然而，关于酵母硒对肉仔鸡的安全性评价尚未见报道。本试验通过测定肉仔鸡生长性能、血液生理和血浆生化指标、器官指数和组织结构变化，以评价玉米-豆粕型饲粮添加不同水平酵母硒对 1~21 日龄和 22~42 日龄肉仔鸡的影响，为确定酵母硒在肉仔鸡饲粮中最高添加水平的安全系数提供科学依据，以确保其在肉仔鸡生产中的安全应用。

1 材料与方法

1.1 试验设计与处理

试验采用单因子完全随机设计。根据前期试验研究得到的肉仔鸡玉米-豆粕型饲粮中酵

母硒形式的硒适宜添加水平为 0.15～0.50 mg/kg 的结果[4-15]，以及农业部颁布的《饲料和饲料添加剂畜禽靶动物耐受性评价试验指南（试行）》中的有关规定，将 0.5 mg/kg 看作是肉仔鸡饲粮以酵母硒为硒源时总硒含量的最高限量，共设置 4 个组，即不添加酵母硒的对照组、硒最高限量组以及分别为硒最高限量组的 5 和 10 倍的 2 个硒高倍剂量添加组，即酵母硒的添加水平分别为 0、0.5、2.5 和 5.0 mg/kg（以硒计）。考虑到饲粮本底中硒含量约为 0.1 mg/kg，故酵母硒添加水平分别设为 0、0.4、2.4 和 4.9 mg/kg（以硒计）。

1.2　试验动物与饲粮

选用 320 只健康商品代 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡，从中按体重和性别选取 288 只，随机分为 4 个组，每个组 6 个重复（笼），每个重复 12 只鸡（公母各占 1/2）。试验期为 42 d，分为 2 个阶段：1~21 日龄和 22~42 日龄。饲养管理和常规免疫按《AA 肉仔鸡饲养管理手册》进行。鸡只自由采食和饮水。试验期每天观察记录鸡只健康状况，如有鸡只死亡，立即解剖，观察分析病理死因，并结料。分别于试验期第 21 和 42 天以重复（笼）为单元称鸡空腹体重和剩料量，计算平均日采食量、平均日增重、料重比和死亡率。

参照 NRC（1994）[16]家禽营养需要量中肉仔鸡营养建议量配制试验鸡 1~21 日龄和 22~42 日龄的玉米-豆粕型基础饲粮，基础饲粮组成及营养水平见表 1，并按上述组别设置分别在各阶段基础饲粮中通过调整玉米淀粉的用量而配制 4 种试验饲粮。酵母硒由安琪酵母有限公司提供，硒含量 2 265 mg/kg。试验饲粮以粉料喂给。肉仔鸡饲粮中硒含量分析值见表 2。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (as fed basis)　　　%

项目 Items	含量 Content	
	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	57.38	59.64
豆粕 Soybean meal	35.46	33.16
大豆油 Soybean oil	2.85	3.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	2.13	1.60
碳酸钙 $CaCO_3$	1.02	1.08

食盐 NaCl	0.30	0.30
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.21	0.07
微量成分 Micronutrients[1)]	0.35	0.22
玉米淀粉+硒 Corn starch+Se	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.56	12.98
粗蛋白质 CP	21.50	20.00
赖氨酸 Lys	1.21	1.10
蛋氨酸 Met	0.54	0.40
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.90	0.77
钙 Ca	1.00	0.90
非植酸磷 NPP	0.45	0.40
硒 Se/(mg/kg)	0.030	0.022

1)微量成分为每千克饲粮提供 Micronutrients provided the following per kilogram of the diet: 1~21 日龄 1 to 21 days of age，VA 15 000 IU，VD_3 4 500 IU，VE 24 U，VK_3 3 mg，VB_1 3 mg，VB_2 9.6 mg，VB_6 3 mg，VB_{12} 0.018 mg，泛酸钙 pantothenic acid calcium 15 mg，烟酸 nicotinic acid 39 mg，叶酸 folic acid 1.5 mg，生物素 biotin 0.15 mg，胆碱 choline 700 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Mn (as manganese sulfate) 110 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Zn (as zinc sulfate) 60 mg，I (as potassium iodide) 0.35 mg；22～42 日龄 22 to 42 day of age，VA 10 000 IU，VD_3 3 400 IU，VE 16 IU，VK_3 2.0 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 6.4 mg，VB_6 2.0 mg，VB_{12} 0.012 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 10 mg，烟酸 nicotinic acid 26 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，生物素 biotin 0.1 mg，胆碱 choline 500 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Zn (as zinc sulfate) 40 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，I (as potassium iodide) 0.35 mg。

2) 粗蛋白质、钙和硒为实测值，其余均为计算值。CP, Ca and Se were measured values, while the others were calculated values.

表 2 肉仔鸡饲粮中硒含量分析值

Table 2 Analyzed values of selenium contents in broiler diets mg/kg

硒添加水平 Selenium supplemental level/(mg/kg)	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
0	0.03	0.02
0.4	0.41	0.41
2.4	2.40	2.41

4.9	4.88	4.95

分析值为 2 个平行测定结果的平均值。Analyzed values were mean values based on duplicate determinations.

1.3　样品采集与制备

配合试验饲粮时现场采样，粉碎过 200 目筛后置于封口样品袋中低温干燥保存以备分析粗蛋白质、钙和硒含量。分别于试验鸡的 21 和 42 日龄时，所有鸡只禁食而不禁水 1 夜后，于第 2 天 08:00 分别称鸡只空腹个体活重，从每个重复笼中按笼平均体重选取 2 只鸡（公母各 1 只），翅静脉采血 10~15 mL。其中，取一份抗凝血测定血液常规生理指标；另一份于 3 000 r/min 离心 20 min，分离血浆并分装，于-20 ℃冻存，以备分析血浆生化指标。各重复（笼）2 只鸡的全血或血浆合为 1 个分析样品。

于 42 日龄试验结束采血后，从每组的各重复（笼）中按笼平均体重另选取 2 只鸡（公母各 1 只），屠宰后摘取胸腺、法氏囊、脾脏、胰脏、心脏、肺脏、肝脏、肾脏、腺胃和肌胃，另取出十二指肠、空肠和回肠挤出其中内容物，分别称重，计算器官指数；测量十二指肠、空肠、回肠长度，计算小肠各段长度指数；同时观察记录各个脏器的形态变化。

脏器指数（%）=（器官重量/活体体重）×100；

小肠各段长度指数（%）=（小肠各段长度/小肠总长度）×100。

各脏器称重后，每个组从其中 3 个重复（笼）各取 1 只公鸡、另 3 个重复（笼）各取 1 只母鸡的部分肝脏、肾脏、心脏、肺和脾脏，放入装有 4%福尔马林溶液的棕色瓶中固定，以备制作切片，观测其组织结构变化。

1.4　样品分析

1.4.1　饲料原料和饲粮样品分析

样品经浓硝酸和高氯酸湿法消化后，采用 IRIS IntrepidⅡ等离子体发射光谱仪（TE，美国）测定饲料原料和饲粮中钙含量[17]；饲料原料和饲粮中粗蛋白质含量按 AOAC（1990）[18]中所述方法测定；酵母硒产品及饲料原料和饲粮中的硒含量采用荧光法[19]测定。

1.4.2　全血、血浆及组织指标分析

采用 KX-21 血细胞自动分析仪（SYSMEX，日本）测定血液常规生理指标（血红蛋白含量、红细胞压积）；采用 TBA-40FR 全自动生化分析仪（Toshiba，日本）测定血浆生化指标[乳酸脱氢酶（LDH）、GOT、谷丙转氨酶（GPT）、肌酸磷酸激酶（CK）、碱性磷酸酶（APK）活性及尿素氮（UN）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、葡萄糖（GLU）、总胆红素（TBILL）、肌酐（CREA）、总胆固醇（TC）和甘油三酯（TG）含量]；采用试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定血浆谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性。

1.4.3　组织结构检查

按 Deng 等[20]和 Ashraf 等[21]报道的方法进行组织结构检查。主要步骤为：将固定的标本经水洗、透明、浸蜡、包埋等处理后，制成 5 μm 的切片，经苏木精-伊红（HE）染色后，在显微镜下观察肝脏、肾脏、心脏、肺脏和脾脏组织结构形态变化，并用图像采集系统采集相应组织图像。

1.5　数据统计分析

所有数据均用 SAS 9.0[22]软件中的一般线性模型（GLM）程序进行方差分析，差异显著者，以最小显著差异（LSD）法比较平均值间的差异显著性。以 0.05 作为本研究中各项数据的差异显著性检验水平。数据以平均值±标准差表示。

2　结果与分析

2.1　酵母硒对肉仔鸡生长性能及死亡率的影响

由表 3 可知，饲粮添加不同水平酵母硒除对肉仔鸡 22~42 日龄平均日采食量和 1~42 日龄平均日增重有显著影响（P<0.05）外，对 1~21 日龄、22~42 日龄和 1~42 日龄肉仔鸡其他生长性能指标及死亡率均无显著影响（P>0.05），而对 1~42 日龄肉仔鸡平均日采食量有影响趋势（P=0.07）。与对照组相比，饲粮添加 0.4 和 2.4 mg/kg 酵母硒显著提高了 22~42 日龄肉仔鸡平均日采食量（P<0.05），饲粮添加 0.4、2.4 和 4.9 mg/kg 酵母硒显著提高了 1~42 日龄肉仔鸡平均日增重（P<0.05），而各酵母添加硒之组间差异不显著（P>0.05）。

以上结果表明，饲粮添加不同水平酵母硒能显著提高肉仔鸡 22~42 日龄平均日采食量和 1~42 日龄平均日增重，而对其他生长性能指标及死亡率均无显著影响。

表 3 酵母硒对肉仔鸡生长性能及死亡率的影响

Table 3 Effects of selenium yeast on growth performance and mortality of broilers

硒添加水平 Selenium supplemental level/(mg/kg)	1~21 日龄 1 to 21 days of age				22~42 日龄 22 to 42 days of age				1~42 日龄 1 to 42 days of age			
	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死亡率 Mortality/%	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死亡率 Mortality/%	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死亡率 Mortality/%
0	27.9	40.8	1.46	1.38	76.8	131.0^{b}	1.72	0.00	51.3^{b}	85.9	1.69	1.38
0.4	29.0	41.7	1.44	0.00	82.6	142.0^{a}	1.72	0.00	54.8^{a}	91.9	1.68	0.00
2.4	29.2	41.4	1.42	0.00	80.0	138.4^{a}	1.73	0.00	54.1^{a}	89.9	1.68	0.00
4.9	28.9	40.4	1.40	1.38	79.0	137.5^{ab}	1.75	0.00	53.9^{a}	89.1	1.69	1.38
SEM	0.5	0.7	0.02	0.98	1.7	2.4	0.03	0.00	0.8	1.4	0.02	0.98
P 值 *P*-value	0.29	0.54	0.25	0.58	0.17	0.03	0.84		0.04	0.07	0.98	0.58

同列数据肩标无字母表示差异不显著(P＞0.05)，肩标不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)。下表同。

In the same column, values with no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05)，while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

2.2　酵母硒对肉仔鸡血液血红蛋白含量、红细胞压积及血浆生化指标的影响

由表 4 可知，饲粮添加不同水平酵母硒对 21 和 42 日龄肉仔鸡血液血红蛋白含量及红细胞压积均无显著影响（$P>0.05$）。

表 4　酵母硒对肉仔鸡血液血红蛋白含量、红细胞压积的影响

Table 4　Effects of selenium yeast on HGB content and HCT in the blood of broilers

硒添加水平 Selenium supplemental level/(mg/kg)	21 日龄 21 days of age		42 日龄 42 days of age	
	血红蛋白 HGB/（g/dL）	红细胞压积 HCT/%	血红蛋白 HGB/（g/dL）	红细胞压积 HCT/%
0	9.38	28.6	10.10	29.5
0.4	9.43	29.1	10.10	30.1
2.4	9.77	31.6	10.10	29.8
4.9	10.20	31.0	10.30	30.8
SEM	0.58	0.02	3.30	0.01
P 值 *P*-value	0.76	0.79	0.95	0.84

由表 5 可知，饲粮添加不同水平酵母硒除对 21 日龄肉仔鸡血浆尿素氮含量和 GSH-Px 活性以及 42 日龄血浆 GSH-Px 活性有显著影响（$P<0.05$）外，对 21 和 42 日龄肉仔鸡血浆其他生化指标均无显著影响（$P>0.05$）。与对照组相比，饲粮添加 2.4 mg/kg 酵母硒显著降低了 21 日龄肉仔鸡血浆尿素氮含量（$P<0.05$），但各酵母硒添加组之间无显著差异（$P>0.05$）；随着饲粮酵母硒添加水平的增加，21 和 42 日龄肉仔鸡血浆 GSH-Px 活性均显著提高（$P<0.05$）。

表 5　酵母硒对肉仔鸡血浆生化指标的影响

Table 5　Effects of selenium yeast on plasma biochemical parameters of broilers

日龄 Days of age	硒添加水平 Selenium supplemental level/(mg/kg)	总胆固醇 TC/(mmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	谷草转氨酶 GOT/(U/L)	葡萄糖 GLU/(mmol/L)	尿素氮 UN/（mmol/L）	肌酐 CREA/(μmol/L)	碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	总胆红素 TBIL/(μmol/L)	总蛋白 TP/(g/L)	白蛋白 ALB/(g/L)	磷酸肌酸激酶 CK/(U/L)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)
21	0	3.21	0.528	27.6	248	11.4	1.20[a]	27.8	2 605	702	7.65	27.4	12.6	2 895	0.015[d]
	0.4	3.34	0.557	37.9	243	10.8	1.12[ab]	27.1	2 783	831	8.10	28.0	13.0	2 295	0.159[c]
	2.4	3.42	0.515	31.0	244	11.3	1.03[b]	27.2	3 178	571	10.0	27.8	13.3	2 687	0.344[b]
	4.9	3.48	0.615	32.2	265	11.0	1.09[ab]	27.2	2 609	681	7.78	28.1	13.5	3 447	0.526[a]
	SEM	0.15	0.037	5.0	9	0.5	0.04	1.0	384	53	1.02	0.8	0.3	425	0.014
	P 值 *P*-value	0.60	0.25	0.55	0.32	0.80	0.04	0.96	0.69	0.34	0.35	0.93	0.27	0.31	<0.001
42	0	2.63	0.35	11.7	299	9.15	0.75	28.7	1 667	726	7.20	31.3	12.6	5 914	0.012[d]
	0.4	2.71	0.42	10.0	252	9.79	0.75	30.0	1 623	668	6.85	31.3	12.8	5 934	0.175[c]
	2.4	2.59	0.31	8.30	235	9.45	0.73	30.8	1 474	602	6.40	29.5	12.5	5 571	0.391[b]
	4.9	2.93	0.38	8.19	265	8.61	0.78	27.9	1 920	803	6.95	30.4	12.5	6 303	0.569[a]
	SEM	0.13	0.03	1.92	22	0.37	0.04	1.4	239	59	1.24	1.0	0.3	326	0.013
	P 值 *P*-value	0.30	0.12	0.55	0.22	0.17	0.87	0.45	0.55	0.12	0.97	0.59	0.90	0.49	<0.001

6

2.3 酵母硒对肉仔鸡器官指数的影响

由表 6 可知，饲粮添加不同水平酵母硒除了有增加 42 日龄肉仔鸡肌胃指数和空肠指数的趋势（P=0.07）外，对其他各器官指数均无显著影响（P>0.05），且以上内脏器官外观未观测到任何异常变化，表明在本次试验条件下，饲粮添加 0.4、2.4 和 4.9 mg/kg 酵母硒不影响肉仔鸡主要内脏器官的发育。

2.4 酵母硒对肉仔鸡主要内脏器官组织结构的影响

由图 1 可见，饲粮添加不同水平酵母硒各组 42 日龄肉仔鸡心脏未见组织结构变化。各组均表现为心脏被膜光滑；心肌细胞排列紧密、整齐，细胞染色均匀；润盘及横纹间质无炎性细胞浸润；细胞核呈圆形或椭圆形，位于肌细胞的中央。

由图 2 可见，饲粮添加不同水平酵母硒各组 42 日龄肉仔鸡肝脏未见组织结构变化。各组均表现为肝小叶呈多角棱柱体，结构完整；肝细胞以中央静脉为中心呈放射状排列，界限清晰，呈均匀的网状结构；肝索和肝窦结构完整清晰。

由图 3 可见，饲粮添加不同水平酵母硒各组 42 日龄肉仔鸡肺脏未见组织结构变化。各组肺脏成鲜红色；三级支气管上皮细胞无炎性渗出物；表面微绒毛粗细一致，分布均匀；肺房上皮表面平整，细胞核呈圆形或椭圆形，位于细胞的中央；呼吸毛细管径大小均匀一致，管腔内无异物，上皮细胞表面光滑；呼吸毛细管周围毛细血管丰富。

由图 4 可见，饲粮添加不同水平酵母硒各组 42 日龄肉仔鸡脾脏未见组织结构变化。各组均表现为脾脏结构清晰完整，脾小结数量和脾小结直径未见变化；中央动脉直径和周围淋巴鞘厚度未见差异。

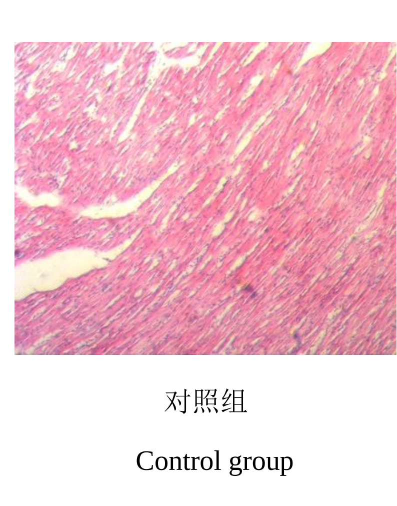
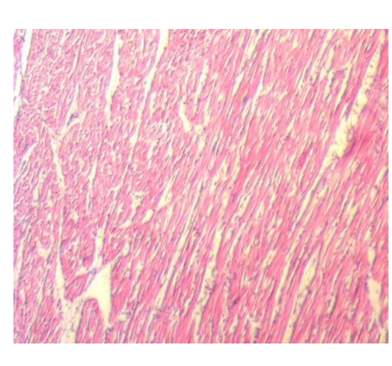
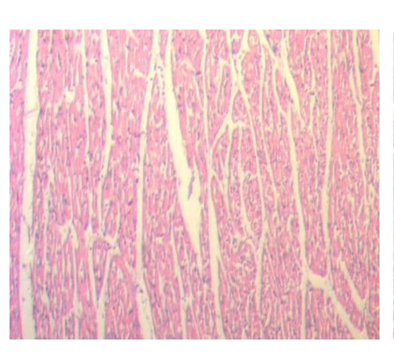
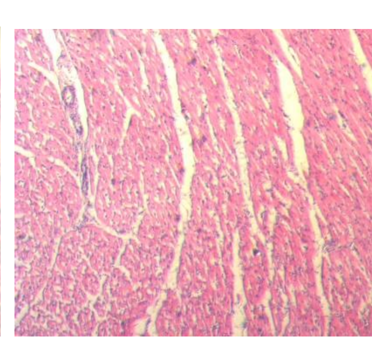
由图 5 可见，饲粮添加不同水平酵母硒各组 42 日龄肉仔鸡肾脏未见组织结构变化。各组均表现为肾脏皮质部肾小球体积适中，结构正常，囊腔清晰；肾小管上皮细胞胞浆均质红染；髓质小体的集合管上皮细胞胞浆较均质。

以上结果表明，在本次试验条件下，饲粮添加不同水平酵母硒的肉仔鸡主要内脏器官均未观测到其显微结构和形态的组织结构变化。

表 6　酵母硒对 42 日龄肉仔鸡器官指数的影响

Table 6　Effects of selenium yeast on organ indices of broilers at 42 days of age　　%

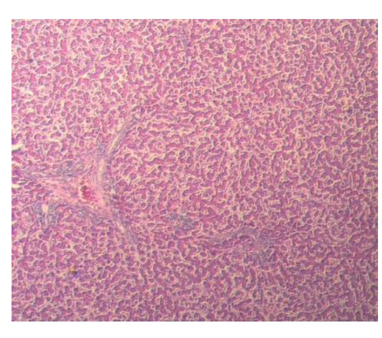
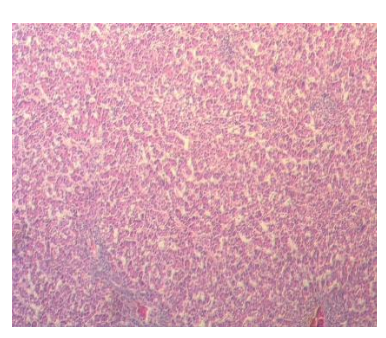
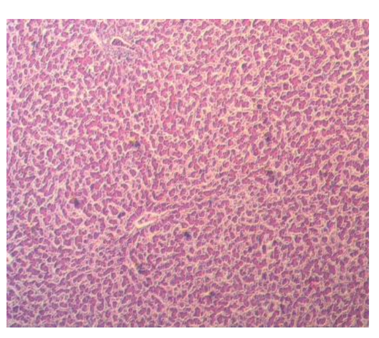
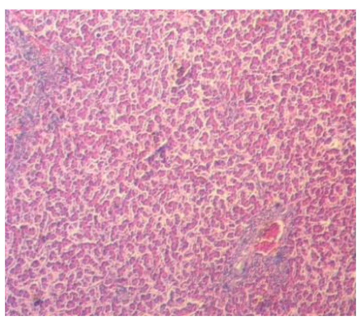
硒添加水平 Selenium supplemental level/(mg/kg)	心脏指数 Heart index	肝脏指数 Liver index	肺脏指数 Lung index	肾脏指数 Kidney index	胰脏指数 Pancreas index	脾脏指数 Spleen index	胸腺指数 Thymus index	法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	腺胃指数 Glandular stomach index	肌胃指数 Gizzard index	十二指肠指数 Duodenum index	空肠指数 Jejunm index	回肠指数 Ileum index	十二指肠长度指数 Duodenum length index	空肠长度指数 Jejunum length index	回肠长度指数 Ileum length index
0	0.45	2.07	0.32	0.35	0.28	0.13	0.47	0.09	0.50	1.35	0.51	1.16	0.89	17.8	40.5	41.7
0.4	0.47	2.03	0.29	0.33	0.29	0.15	0.42	0.11	0.48	1.27	0.52	1.22	0.94	17.1	41.3	41.5
2.4	0.45	2.03	0.30	0.34	0.27	0.15	0.45	0.08	0.48	1.44	0.56	1.32	1.04	17.5	40.1	42.4
4.9	0.45	2.10	0.28	0.34	0.26	0.15	0.42	0.10	0.49	1.44	0.61	1.17	0.94	16.9	41.4	41.7
SEM	0.02	0.07	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05	0.4	0.7	0.7
P 值 *P*-value	0.90	0.86	0.65	0.48	0.81	0.81	0.56	0.50	0.93	0.07	0.53	0.07	0.17	0.47	0.52	0.83

对照组	0.4 mg/kg 酵母硒组	2.4 mg/kg 酵母硒组	4.9 mg/kg 酵母硒组
Control group	0.4 mg/kg selenium yeast group	2.4 mg/kg selenium yeast group	4.9 mg/kg selenium yeast group

图 1　酵母硒对 42 日龄肉仔鸡心脏组织结构变化的影响

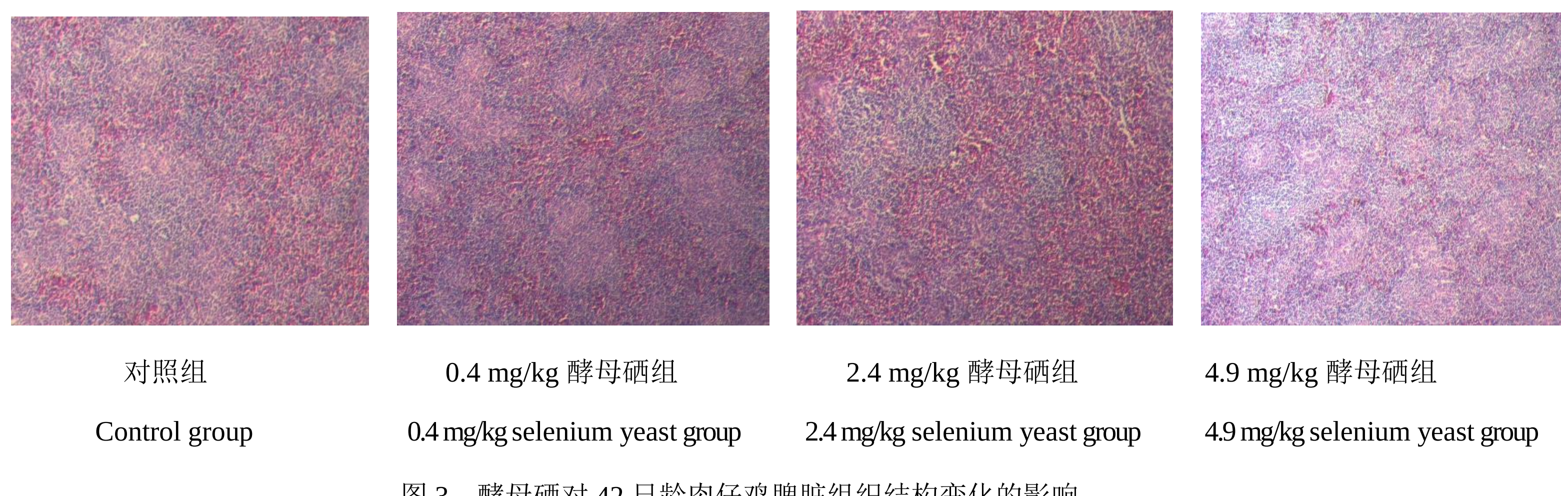
Fig.1　Effects of selenium yeast on heart structural changes of broilers at 42 days of age

对照组	0.4 mg/kg 酵母硒组	2.4 mg/kg 酵母硒组	4.9 mg/kg 酵母硒组
Control group	0.4 mg/kg selenium yeast group	2.4 mg/kg selenium yeast group	4.9 mg/kg selenium yeast group

图 2 酵母硒对 42 日龄肉仔鸡肝脏组织结构变化的影响

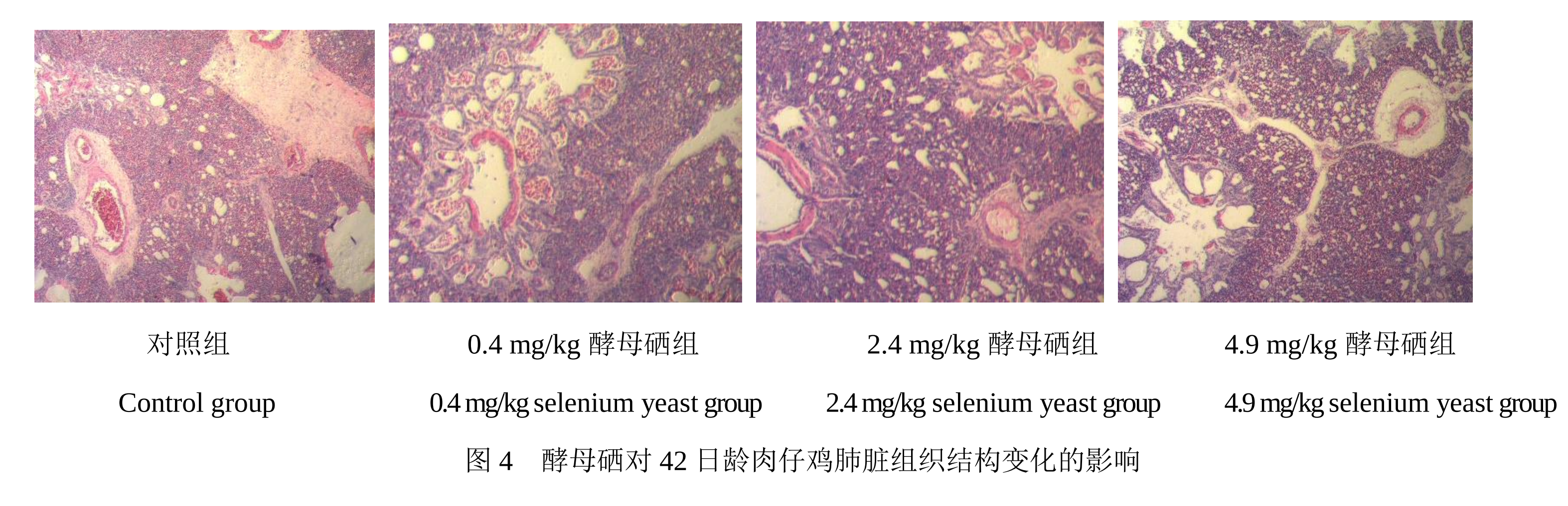
Fig.2 Effects of selenium yeast level on liver structural changes of broilers at 42 days of age



对照组	0.4 mg/kg 酵母硒组	2.4 mg/kg 酵母硒组	4.9 mg/kg 酵母硒组
Control group	0.4 mg/kg selenium yeast group	2.4 mg/kg selenium yeast group	4.9 mg/kg selenium yeast group

图 3 酵母硒对 42 日龄肉仔鸡脾脏组织结构变化的影响

Fig.3 Effects of selenium yeast on spleen structural changes of broilers at 42 days of age

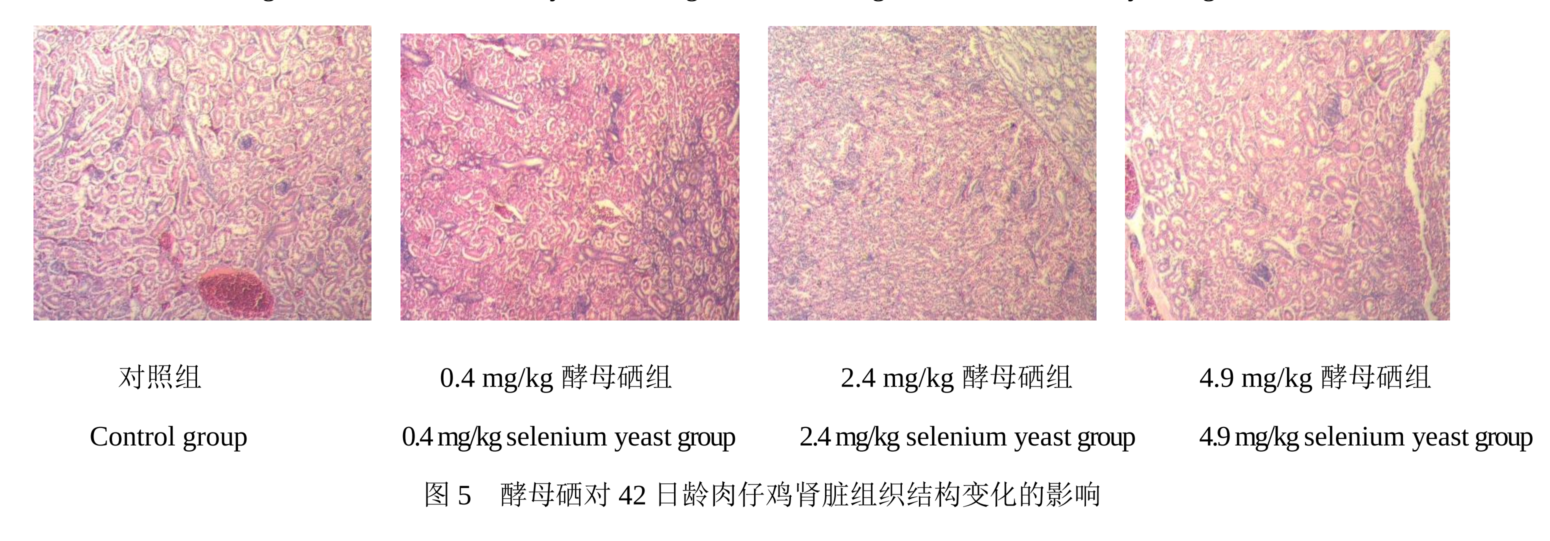


对照组　0.4 mg/kg 酵母硒组　2.4 mg/kg 酵母硒组　4.9 mg/kg 酵母硒组

Control group　0.4 mg/kg selenium yeast group　2.4 mg/kg selenium yeast group　4.9 mg/kg selenium yeast group

图 4　酵母硒对 42 日龄肉仔鸡肺脏组织结构变化的影响

Fig.4　Effects of selenium yeast on lung structural changes of broilers at 42 days of age



对照组　0.4 mg/kg 酵母硒组　2.4 mg/kg 酵母硒组　4.9 mg/kg 酵母硒组

Control group　0.4 mg/kg selenium yeast group　2.4 mg/kg selenium yeast group　4.9 mg/kg selenium yeast group

图 5　酵母硒对 42 日龄肉仔鸡肾脏组织结构变化的影响

Fig.5　Effects of selenium yeast on kidney structural changes of broilers at 42 days of age

3 讨 论

3.1 酵母硒对肉仔鸡生长性能及死亡率的影响

硒是甲状腺原氨酸脱碘酶Ⅰ(ID-Ⅰ)的主要组成成分，ID-Ⅰ控制着机体甲状腺激素[三碘甲状腺原氨酸（T^3）、甲状腺素（T_4）]的活性。ID-Ⅰ能催化 T_4 脱碘转变成活性更强的 T_3，甲状腺激素对于动物体的生长发育起重要作用。研究显示，动物缺硒能引起 ID-Ⅰ的活性下降，进而降低了 T_4 向 T_3 的转化速度，使血液 T_4 的含量上升而 T_3 的含量下降。因此，缺硒动物生长受阻的机制可能是其体内生长激素合成量的不足，进而影响机体正常的生理代谢和生长发育。饲粮中添加适宜的有机硒对畜禽生长性能有明显的改善作用。范淳[6]研究表明，饲粮添加 0.1~0.2 mg/kg 酵母硒形态硒可使生长快速的白羽肉鸡达到较好的日增重和饲料转化效率。林长光等[23]研究表明，饲粮中添加酵母硒或纳米硒，可显著提高仔猪初生窝重和断奶窝重。郭云霞等[24]研究表明，夏季高温条件下在柴鸡饲粮中添加 0.5 mg/kg 酵母硒形态硒可极显著提高其产蛋率，且添加 0.5 和 1.0 mg/kg 酵母硒形态硒均可极显著降低料蛋比。本试验研究表明，饲粮添加不同水平酵母硒能显著提高 22~42 日龄肉仔鸡平均日采食量和 1~42 日龄平均日增重，而对其他生长性能及死亡率无显著影响。

3.2 酵母硒对肉仔鸡血液中血红蛋白含量及红细胞压积的影响

动物血液中血红蛋白含量、红细胞压积等血液常规指标可作为衡量机体健康状况的依据。本试验研究结果表明，饲粮添加不同水平酵母硒对肉仔鸡 21 和 42 日龄血红蛋白含量及红细胞压积均无显著影响。郭军蕊[3]研究结果显示，饲粮中添加高剂量蛋氨酸硒（总硒含量为 5 mg/kg）对 42 日龄肉仔鸡血液中血红蛋白含量及红细胞压积均无显著影响，与本试验结果一致。这表明饲粮中添加酵母硒对肉仔鸡血液中血红蛋白含量及红细胞压积无明显影响。

3.3 酵母硒对肉仔鸡血浆生化指标的影响

血浆总蛋白和白蛋白的含量在一定程度上可以反映机体蛋白质的合成和代谢状况[25]。

尿素氮是动物机体蛋白质消化代谢的主要终末产物。血浆中尿素氮含量可以反映机体蛋白质代谢水平，当血浆尿素氮含量低时，说明蛋白质利用率高。本研究结果表明，与对照组相比，饲粮添加 2.4 mg/kg 酵母硒显著降低了 21 日龄肉仔鸡血浆尿素氮含量，而对血浆总蛋白和白蛋白的含量无显著影响。孙春阳等[26]研究结果表明，饲粮中添加葡萄糖氧化酶和酵母硒混合添加剂显著降低了 21 和 42 日龄血清尿素氮含量，与本试验结果类似。这说明酵母硒有提高肉仔鸡机体蛋白质利用率的作用。

血浆中谷丙转氨酶和谷草转氨酶是反映机体肝功能的重要指标。当肝脏受到损伤时，血浆谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性会升高。血浆中磷酸肌酸激酶活性能反映出心肌细胞受损的水平。碱性磷酸酶多存在于骨骼及肝脏中，可以将相应底物去磷酸化产生磷酸，然后与钙结合沉积于骨骼中，肝脏或成骨细胞出现损伤时，碱性磷酸酶活性会升高。本试验研究结果显示，饲粮添加不同水平酵母硒对血浆中谷丙转氨酶、谷草转氨酶、肌酸磷酸激酶及碱性磷酸酶等活性均无显著影响，这与郭军蕊[3]研究结果相似。这表明饲粮中添加 0.4、2.4、4.9 mg/kg 酵母硒对肉仔鸡肝脏和心脏均无不良影响。

硒是 GSH-Px 的必需组成部分，GSH-Px 的活性高低可反映机体抗氧化能力强弱。Wang 等[27]研究结果表明，饲粮添加不同硒源（亚硒酸钠、酵母硒）均显著提高了肉仔鸡血浆 GSH-Px 活性。王巧莉等[28]研究结果表明，添加酵母硒可显著提高肉鹅血浆中 GSH-Px 活性。硒是 GSH-Px 的活性中心，机体中 30%～40%的硒以 GSH-Px 的形式存在，GSH-Px 活性与硒在一定水平范围内随硒水平的升高而升高。本研究结果表明， 21 和 42 日龄，各酵母硒添加组随着酵母硒添加水平的增加肉仔鸡血浆 GSH-Px 活性均显著提高。这说明饲粮添加高水平酵母硒可提高肉仔鸡的抗氧化能力。

3.4 酵母硒对肉仔鸡器官指数的影响

免疫器官指数和消化器官指数是反映动物免疫和消化功能的重要参考指标。杜禛等[29]报道，高硒对鸡肠道黏膜有毒性作用，而在本试验中，饲粮添加 0.4、2.4、4.9 mg/kg

酵母硒对肉仔鸡内脏和胃肠器官指数均无显著影响。本试验中添加的高水平硒并未对鸡肠道黏膜有显著影响，可能与硒添加形态的不同及鸡品种的不同有关。

3.5 酵母硒对肉仔鸡主要组织结构变化的影响

祁周约等[30]用硒含量分别为 8.06 和 13.08 mg/kg 的高硒玉米配制的高硒饲粮饲喂 60 日龄的育成鸡，采集心脏、肝脏、脾脏、胸肌等组织进行病理学检查，发现高硒组以心肌萎缩变形、肝脏灶状坏死为主要症状。尹小平[31]添加 12 mg/kg 亚硒酸钠形态硒，饲喂柳州黑鸡 45 d，病理变化主要表现在心脏、肝脏等实质器官的变性、坏死。本试验中，饲粮添加酵母硒未观测到肉仔鸡心脏等主要内脏器官组织显微结构和形态的组织结构变化。此结果与前人研究结果[30-31]不一致，可能因为本试验的高水平酵母硒组的硒含量更低，且硒的添加形态不同。这表明饲粮添加高水平酵母硒（2.4、4.9 mg/kg）不会引起肉仔鸡重要组织结构变化。

本试验中，由于实际测得的基础饲粮硒含量值低于 0.10 mg/kg，使得饲粮中添加 0.4 mg/kg 酵母硒的最高限量组实测总硒含量只为 0.41 mg/kg，低于我国农业部于 2009 年发布的《饲料添加剂安全使用规范》（第 1224 号）公告中规定的以酵母硒为硒源时配合饲粮中硒的最高限量 0.5 mg/kg。本试验研究结果显示，饲粮添加 0.4、2.4、4.9 mg/kg 酵母硒并未对肉仔鸡生长性能、血浆生化指标、免疫器官及主要脏器发育造成不良影响，因此，肉仔鸡饲粮中酵母硒的添加水平为 0.4 mg/kg，即肉仔鸡饲粮中硒的总量为 0.41 mg/kg 时，具有 10 倍多的安全系数，对肉仔鸡饲喂是安全的。

4 结 论

饲粮添加 0.4～4.9 mg/kg 的酵母硒对肉仔鸡生长性能、血常规指标、多数血浆生化指标和主要脏器发育均无不良影响，主要内脏均未观测到组织病理学变化，所有鸡只均未出现毒性反应。因此，肉仔鸡饲粮中酵母硒的添加水平为 0.4 mg/kg，即肉仔鸡饲粮中硒的总含量为 0.41 mg/kg 时，具有 10 倍多的安全系数，对肉仔鸡饲喂是安全的。

参考文献：

[1] 陈学存,陈孝曙,陈君石.人体营养的微量元素(一)(世界卫生组织专家委员会的报告)[J].国外医学参考资料：卫生学分册,1974(1):24–34.

[2] KIM Y Y,MAHAN D C.Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2001,79(4):942–948.

[3] 郭军蕊.有机硒在肉仔鸡饲料中的有效性和安全性评价研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.

[4] 田金可,HUSSAIN A,李伟,等.不同硒源及水平对肉鸡组织硒含量及抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2012,24(6):1030–1037.

[5] 李业国,郭峰,李同树.日粮不同硒源对肉仔鸡生产性能、肉质和血清甲状腺激素的影响[J].畜牧与兽医,2005,37(8):30–32.

[6] 范淳.酵母硒对正常和应激状态下肉仔鸡的添加效应及生物学效价[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2009.

[7] 杨晓静.不同硒源对肉鸡生长及生物学利用率的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2001.

[8] 朱宏娟.不同硒源及硒水平对肉仔鸡生产性能和血液抗氧化指标的影响[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2006.

[9] 陈敏,李锋,梁新乐.啤酒酵母硒对肉鸡生长性能及肌肉品质影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(15):40–43.

[10] 邹晓庭,郑根华,尹兆正,等.不同硒源对肉鸡生长性能、胴体特性和肉质的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(6):773–776.

[11] 黎观红,徐海燕,许兰姣,等.日粮硒添加水平对泰和乌骨鸡生产性能及组织黑色素含量的影响[J].中国农业科学,2011,44(13):2777–2786.

[12] 陈常秀,李永洙.硒源对肉鸡肉质和组织硒含量及血液谷胱甘肽过氧化酶活性的影响[J].江西农业大学学报,2008,30(4):715–719.

[13] 陈忠法,俞信光,韩泽建.不同硒源对肉仔鸡生长性能和肉质的影响[J].浙江农业学报,2003,15(4):250–254.

[14] 朱金林,黄鑫,贺淼,等.酵母硒对肉鸡生长、肉鸡组织硒含量及血液生化性能的影响[J].饲

料研究,2014(11):31–32,51.

[15] LIAO X D,LU L,LI S F,et al.Effects of selenium source and level on growth performance,tissue selenium concentrations,antioxidation,and immune functions of heat-stressed broilers[J].Biological Trace Element Research,2012,150(1/2/3):158–165.

[16] NRC.Nutrient requirements of poultry[M].9th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1994.

[17] 马春艳,罗绪刚,张丽阳,等.饲粮铁水平对22～42日龄肉仔鸡生长性能和胴体性能及肌肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(17):53–58.

[18] AOAC.Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M].15th ed.Washington,D.C.:AOAC,1990:73–74.

[19] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.93—2010 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.

[20] DENG W,DONG X F,TONG J M,et al.The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production,gut morphology,and intestinal mucosal immunity in laying hens[J].Poultry Science,2012,91(3):575–582.

[21] ASHRAF S,ZANEB H,YOUSAF M S,et al.Effect of dietary supplementation of prebiotics and probiotics on intestinal microarchitecture in broilers reared under cyclic heat stress[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2013,97(Suppl.1):68–73.

[22] SAS Institute Inc.SAS/user’s guide:statistics.Version 9.0[M].Cray,N.C.:SAS Institute Inc.,2003.

[23] 林长光,林金玉,林枣友,等.不同硒源对母猪泌乳期生产性能、血浆和乳中硒含量的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(21):48–52.

[24] 郭云霞,郝庆红,黄仁录,等.日粮中添加酵母硒对柴鸡抗氧化能力的影响[J].畜牧与兽医,2007,39(11):46–49.

[25] 索海青,许国辉,肖林,等.低聚木糖对肉仔鸡的生物安全性评价[J].动物营养学报,2015,27(6):1841–1852.

[26] 孙春阳,邢焕,栾素军,等.葡萄糖氧化酶和酵母硒复合添加剂对肉鸡生长性能、抗氧化性能及肉品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(9):2789–2796.

[27] WANG Y B,XU B H.Effect of different selenium source (sodium selenite and selenium yeast)

on broiler chickens[J].Animal Feed Science and Technology,2008,144(3/4):306–314.
[28] 王巧莉,王宝维,范永存,等.酵母硒对肉鹅免疫和抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2009,21(3):398–404.
[29] 杜祯,马海利.肠粘膜免疫与元素硒关系的研究[J].当代畜禽养殖业,2007(8):24–28.
[30] 祁周约,韩斌,秦晟,等.育成鸡有机硒中毒实验研究[J].畜牧兽医学报,1992,23(3):281–284.
[31] 尹小平.柳州黑鸡硒亚慢性中毒的病理及某些毒性机理的研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2005.

Evaluation of the Biological Safety of Selenium Yeast for Broilers

HE Wengang[1*] ZHAO Yuzhen[2*] LIAO Xiudong[2] ZHANG Liyang[2] LYU Lin[2**] GUO Yanli[1**] LUO Xugang[2]

(1. *College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Mineral Nutrition Research Division, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary different supplemental levels of selenium yeast on growth performance, hemoglobin content and hematocrit in blood, plasma biochemical parameters, organ indices and histopathological changes of Arbor Acres (AA) broilers so as to evaluate the biological safety of selenium yeast for broiler chicks. A total of 288 one-day-old AA broilers were randomly allocated into four groups with six replicates per group and twelve broilers per replicate (half male and half female) in a completely randomized design. Broilers were fed the corn-soybean meal basal diets supplemented with 0, 0.4, 2.4 or 4.9 mg/kg selenium yeast （as selenium）. The experiment lasted for 42 days. The results showed as

[*]Contributed equally
**Corresponding authors: LYU Lin, associate professor, E-mail: lulin1225@163.com; GUO Yanli, professor, E-mail: guoyl@gsau.edu.cn （责任编辑 武海龙）

follows: 1) compared with the control group, dietary supplemented with 0.4 and 2.4 mg/kg selenium yeast significantly increased the average daily feed intake of broilers during 22 to 42 days of age (P<0.05), dietary supplemented with 0.4, 2.4 and 4.9 mg/kg selenium yeast significantly increased the average daily gain of broilers during 1 to 42 days of age (P<0.05), but no significant differences were found in the above two indices among all the selenium yeast groups (P>0.05). 2) Except dietary different supplemental levels of selenium yeast significant affected the urea nitrogen content and glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in plasma of broilers at 21 days of age and plasma GSH-Px activity of broilers at 42 days of age（P<0.05）, but did not affect the other plasma biochemical parameters (P>0.05). Compared with the control group, the plasma GSH-Px activity of broilers at 21 and 42 days of age in selenium yeast groups was significantly increased as dietary selenium yeast level increased （P<0.05）, and dietary supplemented with 2.4 mg/kg selenium yeast significantly decreased plasma urea nitrogen content of broilers at 21 days of age （P<0.05）. 3） Dietary different supplemental levels of selenium yeast had no significant effects on hemoglobin content and hematocrit in blood of broilers at 21 and 42 days of age and organ indices of broilers at 42 days of age (P>0.05), and did not cause the histopathological changes of major organs. These results indicate that when dietary supplemental level of selenium yeast is 0.4 mg/kg (dietary total selenium content is 0.41 mg/kg), the supplemental level of chromium (as selenium yeast) to diet which is 10 times of the allowance will be safe for broilers..

Key words: selenium yeast; biological safety evaluation; broilers